

УДК 620.19

М. К. Корх, Ю. В. Корх, М. С. Огнева

Институт физики металлов УрО РАН,
г. Екатеринбург

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИТНЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ

В статье приведены результаты исследований изменения фазового состава, магнитных и электрических свойств аустенитно-ферритной хромоникелевой стали 08Х21Н6М2Т под воздействием пластической деформации прокаткой. Показано как меняются электрические и магнитные свойства исследуемой стали вследствие изменения ее фазового состава и образования в ее структуре мартенсита деформации. Также изучена применимость ряда современных методик структуроскопии и фазового анализа для выявления и количественного определения образовавшегося мартенсита.

Ключевые слова: аустенит, феррит, мартенсит, микроскопия, фазовый анализ.

М. К. Korkh, Yu. V. Korkh, M. S. Ogneva

THE INFLUENCE OF DEFORMATION ON PHASE COMPOSITION, MAGNETIC AND ELECTRICAL PROPERTIES OF AUSTENITIC CHROMIUM-NICKEL STEELS

The article presents the results of investigations of transformation of phase composition, magnetic and electrical properties of 08H21N6M2T austenitic-ferritic chromium-nickel steel under the plastic deformation by cold rolling. It is shown how electrical and magnetic properties of the steel under study change due to the phase composition transformation and the strain-induced martensite appearance in the steel structure. Also, the applicability of several modern methods of structural and phase analysis is studied to detect and quantify the formed martensitic phase.

Keywords: austenite, ferrite, martensite, microscopy, phase analysis.

Аустенитные хромоникелевые стали широко используются во многих отраслях промышленности при изготовлении деталей и узлов конструкций ответственного назначения. Данные стали обладают уникальным комплексом эксплуатационных и механических свойств: способность выдерживать влияние низких и высоких температур, агрессивных сред, жаропрочность, повышенная ударная вязкость. В случае аустенитных сталей данные характеристики

определяются не только легированием, но в первую очередь зависят от фазового состава стали.

Так в изделиях из аустенитных и аустенитно-ферритных сталей, вследствие воздействия на них высоких или низких температур и упруго пластических деформаций, возможно образование фазы мартенсита деформации (М) помимо исходных фаз аустенита (А) и феррита (Ф). Появление мартенситной фазы напрямую влияет на степень охрупчивания сталей, особенно в зонах концентрации напряжений.

Таким образом, контроль содержания М является важной и актуальной задачей. Особый интерес для исследований представляет деформация аустенитно-ферритных (дулексных) сталей. В этом случае при появлении мартенсита деформации возникает трехфазная структура, две фазы которой (Ф и М) являются ферромагнетиками. Выявление мартенсита в присутствии сходного с ним по морфологии кристаллической решетки и магнитным свойствам феррита возможно далеко не всеми способами структуроскопии и фазового анализа. С этой целью в данной работе рассмотрены различные методики структурно-фазового анализа. Некоторые из них позволяют оценить фазовый состав исследуемых сталей лишь качественно, при помощи других возможна также и количественная оценка содержания фаз в изделии.

Объектом исследования выступали образцы изготовленные из двух- и трехфазной (А+Ф+М) стали марки 08Х21Н6М2Т (содержание феррита 18 %). Для получения фазы М в материале образцы были продеформированы прокаткой после выдержки в жидком азоте.

Фазовый состав полученного трехфазного материала исследовался при помощи оптической, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, методами атомно- и магнитно-силовой микроскопии, а также путем изучения магнитных свойств деформированных образцов и сравнения их со свойствами исходной двухфазной (А+Ф) стали.

Оптическая микроскопия

Результаты оптической микроскопии поверхности исходного и деформированного (трехфазного) образцов приведены на рис. 1.

Несмотря на то, что поверхность образцов подвергалась травлению на мартенсит с последующей электрополировкой, структура поверхности трехфазной стали на рис. 1, б и 1, в практически не отличается от структуры двухфазной стали на 1а. На всех трех фотографиях четко различимы только 2 фазы – аустенит и более темный, образующий округлые «гроздья» феррит. Т. е. в данном случае оптическая микроскопия не дает возможности определить наличие мартенсита в материале изделия.

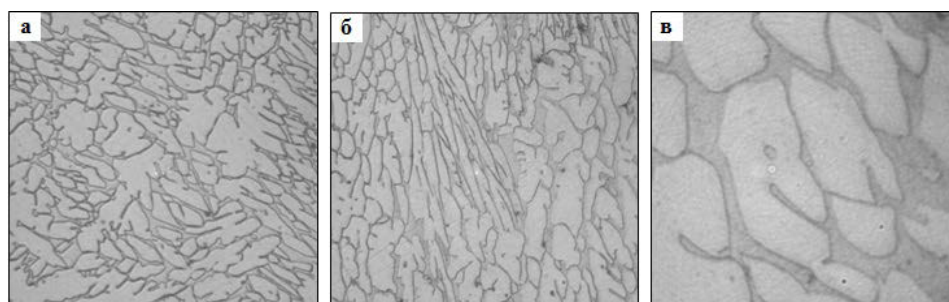


Рис. 1. Оптическая микроскопия поверхности исследуемых образцов:
а – образец до деформации (увеличение $\times 250$), б – образец после деформации 25% ($\times 250$),
в – образец после деформации 25% ($\times 1000$)

Электронная микроскопия

Для дальнейших исследований фазового состава образцов были использованы методы сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ).

На рис. 2 приведены результаты СЭМ поверхности недеформированного (рис. 2, а) и деформированного (рис. 2, б, деформация 25 %) образцов. Хорошо видно, что после деформации фаза аустенита меняет свой вид, в ней появляются некие игольчатые включения, которые могут быть идентифицированы как фаза мартенсита деформации.

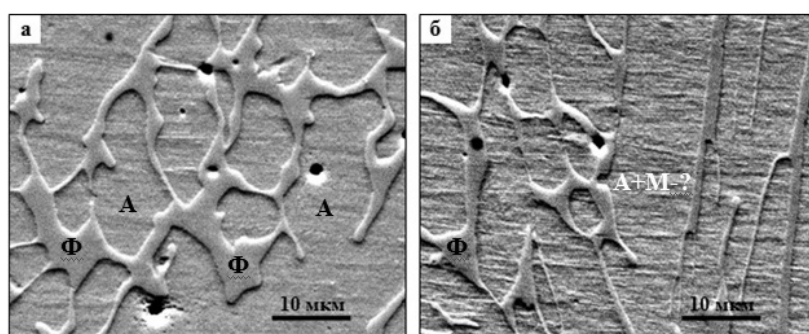


Рис. 2. СЭМ исходного (а) и деформированного (б) образцов

На рис. 3 приведены результаты ПЭМ поверхности недеформированного (рис. 3, а) и деформированного (рис. 3, б) образцов.

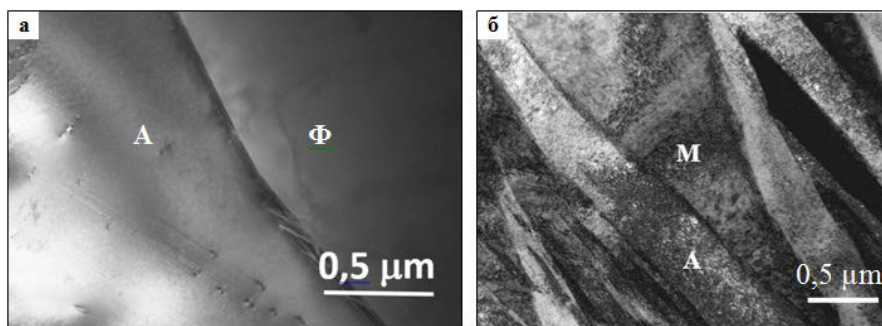


Рис. 3. ПЭМ исходного (а) и деформированного (б) образцов

Просвечивающая электронная микроскопия позволила визуализировать мартенсит деформации получившийся в результате распада аустенита. Если на рис. 3а фаза аустенита однородна, то на рис. 3, б четко видна игольчатая пластинчатая структура мартенсита деформации.

Атомно- и магнитно-силовая микроскопия

На рис. 4 и 5 приведены результаты атомно-силовой (а-с) и магнитно-силовой (м-с) микроскопии.

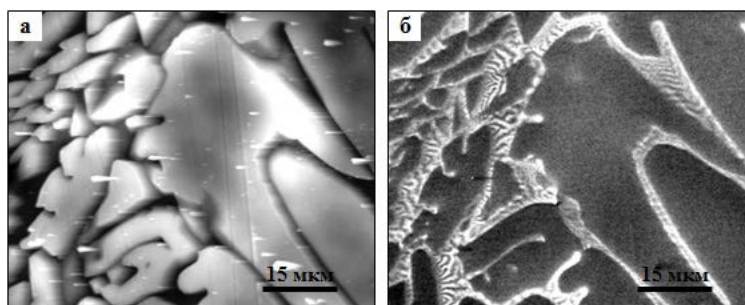


Рис. 4. Атомно-силовая (а) и магнитно-силовая (б) микроскопия поверхности недеформированного образца

По результатам а-с и м-с микроскопии недеформированного образца видно, что и на топографическом изображении (рис. 4, а) и на магнитно-силовом (рис. 4, б) четко видны две фазы – однородная фаза аустенита и фаза феррита с выраженной доменной структурой (см. рис. 4, б).

В тоже время при исследованиях трехфазного образца (рис. 5) можно видеть, что на топографическом изображении поверхности (рис. 5, а) по-прежнему видны только две фазы, но при м-с исследованиях в аустените проявляется полосчатая плотноупакованная ферромагнитная структура, которая и является образовавшимся вследствие деформации мартенситом.

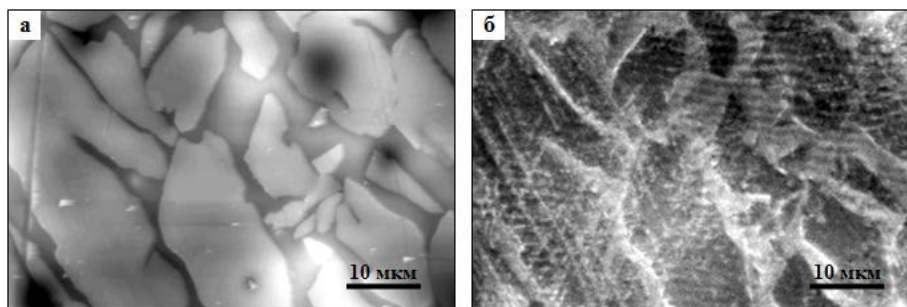


Рис. 5. Атомно-силовая (а) и магнитно-силовая (б) микроскопия поверхности деформированного образца

Магнитно-фазовый анализ

Магнитные методики являются традиционными при оценке фазового состава аустенитных (парамагнитных) сталей с включениями ферромагнитных фаз феррита и мартенсита. Например, увеличение намагниченности насыщения (M_S) строго пропорционально содержанию в стали Φ и M (рис. 1). В том случае, если после деформации у изделия обнаружен рост M_S , можно с уверенностью говорить о появлении в материале изделия фазы мартенсита деформации, а также оценить его количество. Также обнаружен значительный (в 2–4 раза) рост коэрцитивной силы у трехфазных образцов по сравнению с исходным двухфазным материалом, что также может служить индикатором присутствия в материале мартенсита деформации.

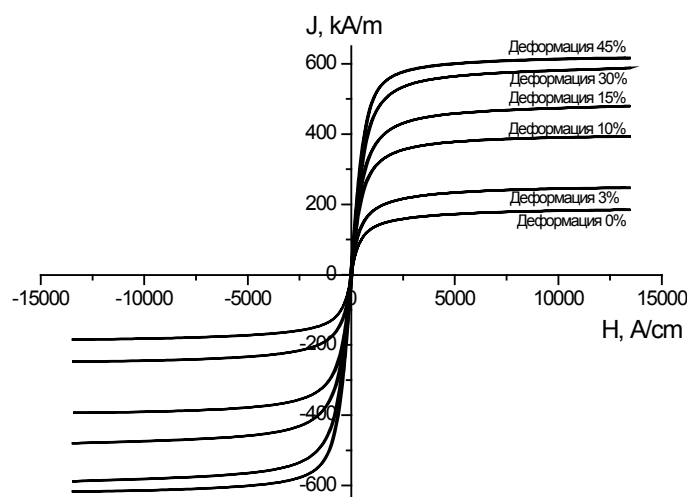


Рис. 5 Влияние деформации на магнитные свойства хромоникелевой стали 08X21H6M2T (исходное содержание феррита 18%)

Измерение удельного электрического сопротивления

Фазовый состав аустенитных сталей влияет и на электрические свойства изделий, например на величину удельного электрического сопротивления (ρ).

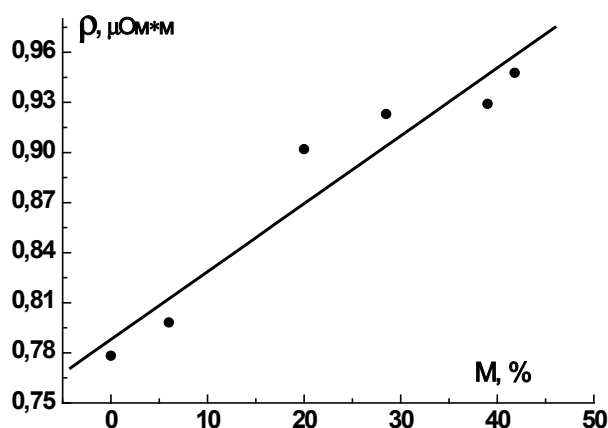


Рис. 6 Зависимость величины ρ от процентного содержания мартенсита деформации в стали 08X21H6M2T

На рис. 6 приведены результаты исследований изменения ρ в зависимости от процентного содержания в деформированной аустенитно-ферритной стали мартенсита деформации. Как видно из рис. 6, увеличение содержания фазы мартенсита приводит к росту ρ (рис. 2). Таким образом, по изменению значений ρ можно использовать при оценке количества появившегося мартенсита деформации в изделии.

В работе проведен анализ влияния деформации на фазовый состав, при изменении которого возможно ухудшение эксплуатационных свойств изделий из аустенитных сталей за счет появления фазы мартенсита деформации. Рассмотрены различные методики выявления и определения количества M.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-12-00001).

Список литературы

1. Методы выявления мартенсита деформации в аустенитно-ферритных сталях / М. Б. Ригмант [и др.] // Дефектоскопия. – 2015. – № 10. – С. 28–42.
2. Меринов П. Е., Мазепа А. Г. Определение мартенсита деформации в сталях аустенитного класса магнитным методом // Заводская лаборатория. – 1997. – № 3. – С. 47–49.
3. L.Q. Guo, M. Li, X.L. Shi, Y. Yan, X.Y. Li, L.J. Qiao. – Corrosion Science 53, pp. 3733–3741 (2011).